

**PCT**

WELTOORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6: G01N 33/18, 1/14, E02D 1/06, E21B 47/08		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/43637  (43) Internationale Veröffentlichungsdatum: 20. November 1997 (20.11.97)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/02450		(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, ARIPO Patent (GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 14. Mai 1997 (14.05.97)		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(30) Prioritätsdaten: 196 21 158.1 14. Mai 1996 (14.05.96) DE 197 11 110.6 6. März 1997 (06.03.97) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten außer US): UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH [DE/DE]; Permoserstrasse 15, D-04318 Leipzig (DE).			
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DEHNERT, Joerg [DE/DE]; Talstrasse 40, D-01819 Berggießhübel (DE), FREYER, Klaus [DE/DB]; Hans-Scholl-Strasse 8, D-04454 Holzhausen (DE), NESTLER, Wolfgang [DE/DE]; Hirschbacher Weg 2, D-01277 Dresden (DE), TREUTLER, Hans-Christian [DE/DE]; Lessingstrasse 6, D-04683 Naunhof (DE).			
(74) Anwälte: HENGELHAUPT, Jürgen, D. usw.; Guido Hengelhaupt Ziebig, Lützowplatz 11-13, D-10785 Berlin (DE).			
(54) Title: PROCESS AND DEVICES FOR CHARACTERISING GROUND WATER MEASUREMENT POINTS BY DISTINGUISHING GROUND WATER FROM SUBTERRANEAN WATER ACCUMULATION			
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNGEN ZUR CHARAKTERISIERUNG VON GRUNDWASSERMESSTELLEN DURCH UNTERScheidUNG VON GRUNDWASSER UND STANDWASSER			
(57) Abstract			
<p>A process and devices are disclosed for characterising ground water measurement points by distinguishing ground water from subterranean water accumulation, and are useful in particular for determining the optimum pumping times of ground water measurement points for representative quality tests and for recognising and localising defects in ground water measurement points. The invention is based on the measurement of radon activity concentration or the total activity concentration of ground water samples. Measuring concentrations off-line or on-line makes it possible to reliably determine the ratio from ground water to subterranean water accumulation in a ground water measurement point. A new type of flow measurement cell and a bore hole probe are disclosed. The invention is applicable wherever quality tests of ground water are carried out.</p>			
(57) Zusammenfassung			
<p>Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und Vorrichtungen zur Charakterisierung von Grundwassermessstellen durch Unterscheidung von Grundwasser und Standwasser und dient beispielsweise zur Bestimmung der für repräsentative Beschaffenheitsuntersuchungen optimalen Abpumpzeiten von Grundwassermessstellen sowie der Erkennung und Lokalisierung von Defekten an Grundwassermessstellen. Die Erfindung basiert auf der Messung der Radonaktivitätskonzentration bzw. der Gesamtkonzentration der Grundwasserproben. Die Messung der Konzentrationen im off-line- oder on-line-Verfahren gestattet die sichere Bestimmung des Verhältnisses von Grundwasser zu Standwasser in einer Grundwassermessstelle. Es werden eine neuartige Durchflusssonde sowie eine Bohrlochsonde beschrieben. Die Erfindung ist überall dort anwendbar, wo Beschaffenheitsuntersuchungen des Grundwassers durchgeführt werden.</p> <span style="float: right;">(5)</span>			

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäß dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Elfenbeinküste	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CJ	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CN	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		

# Verfahren und Vorrichtungen zur Charakterisierung von Grundwassermeßstellen durch Unterscheidung von Grundwasser und Standwasser

10

## Beschreibung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtungen zur Charakterisierung von Grundwassermeßstellen durch Unterscheidung von Grundwasser und Standwasser durch Meßwerterfassung von Grundwassermeßstellenparametern und dient sowohl der Vor-Ort-Bestimmung des optimalen Probenahmezeitpunktes, der Bestimmung der für repräsentative Beschaffenheitsuntersuchungen optimalen Abpumpzeiten sowie der Überwachung von Grundwassermeßstellen auf Defekte.

Die Erfahrung ist anwendbar insbesondere im Rahmen von  
Beschaffheitsuntersuchungen des Grundwassers.

25 Sowohl der Schutz des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung als auch die Überprüfung von Altlastenverdachtsflächen, die Altlastenuntersuchung und die Sanierung von Schadensfällen machen die Gewinnung einer ständig steigenden Anzahl von Grundwasserproben notwendig. Um das Grundwasser zu beproben, wurden und werden Grundwasserbeobachtungsrohre bzw. Grundwassermeßstellen errichtet. Gleichzeitig wurde die Analytik zur Bestimmung der Wasserinhaltsstoffe verfeinert und das Spektrum der nachweisbaren Einzelstoffe ausgeweitet.  
30 Beides führte zu einer neuen Qualitätsanforderung an

die Grundwasserprobe. Die hohen Anforderungen der Analytik und der finanzielle Aufwand zur Gewinnung einer Grundwasserprobe verlangen gleichermaßen eine sorgfältige, teufenorientierte und repräsentative Probennahme. Voraussetzung hierfür ist die richtige Auswahl von Meßstellentyp, Beprobungstechnik und Probenahmetechnologie. Darüberhinaus ist für die Repräsentanz einer Grundwasserprobe die Kenntnis der optimalen Abpumpzeit maßgeblich. Wenn eine Probe wegen einer zu kurz gewählten Abpumpzeit größere Anteile Standwasser aus dem Grundwasserbeobachtungsrohr enthält, kann die Bewertung des Analysenergebnisses zu falschen Schlußfolgerungen führen. Eine zu lange Abpumpzeit hingegen kann Wasserkörper anderer Horizonte heranziehen, was ebenfalls unerwünscht ist. Die richtige Bestimmung der Abpumpzeiten für Grundwasserbeobachtungsrohre ist ein bisher nicht vollständig gelöstes Problem.

Vor jeder Probennahme muß das zu beprobende Grundwasserbeobachtungsrohr abgepumpt werden, bis das geförderte Wasser dem des umgebenden Grundwassers entspricht und nicht mehr durch die Meßstelle beeinflußt wird. Hierzu ist es bekannt, bis zur Konstanz von elektrischer Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert abzupumpen. Gleichzeitig ist bekannt, daß die elektrische Leitfähigkeit nur eine Orientierungsgröße ist. Weitere bekannte Methoden sind Faustformeln wie der mehrfache Austausch des Rohrinhaltes. Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß die Konstanz der elektrischen Leitfähigkeit heute das allgemein übliche Kriterium für die Beurteilung des Zeitpunktes einer repräsentativen Probe ist, obwohl über die Prozesse, die das Abfallen der elektrischen Leitfähigkeit in einem Grundwasserbeobachtungsrohr verursachen, nur wenig bekannt ist.

Nachteilig an dieser Methode ist, daß diese Konstanz zwar als notwendige Bedingung für eine nachfolgende Probennahme betrachtet werden muß, sie ist aber nicht hinreichend, da die elektrische Leitfähigkeit auch vor dem Zeitpunkt für die repräsentative Probennahme einen Plateauwert erreichen kann. Das tritt beispielsweise auf, wenn das Grundwasserbeobachtungsrohr Tage oder Wochen vor der Probennahme schon einmal beprobt worden ist. Die Radonaktivitätskonzentration hingegen kann als zuverlässiges Kriterium auch dann noch eingesetzt werden, wenn zwischen zwei Beprobungen nur wenige Tage liegen.

Außerdem ist die relative Änderung zwischen dem Ausgangswert (Standwasser) und dem Endwert (Grundwasser) bei der Leitfähigkeit in der Regel um ein Vielfaches kleiner als bei der Radonaktivitätskonzentration, was das Festlegen des optimalen Zeitpunktes für die repräsentative Probennahme bei Verwendung der Radonaktivitätskonzentration erleichtert.

Ein derartiges Verfahren zur Bestimmung der optimalen Abpumpzeiten von Grundwasserbeobachtungsrohren zur Festlegung eines optimalen Probenahmezeitpunkts ist aus der DE 3911366 C2 bekannt, bei welchem die Leitfähigkeit des Wassers überwacht und bei konstanter Leitfähigkeit die repräsentative Probenahme eingeleitet wird.

Weiterhin wurde mit der DE 42 17 263 A1 eine Lösung bekannt, mit welcher bei der Probenahme auch gasförmige Bestandteile überwacht werden.

Allerdings handelt es sich bei dieser Lösung nicht darum, Gas zur Festlegung des Probenahmezeitpunktes zu nutzen, sondern um den zur GW-Probenahme analogen Vorgang der Gasprobenahme.

Aus den Literaturstellen Health Physics, Vol. 53 (1987) S. 181-186 und Radioisotopes, Vol. 30 (1981) S. 649-654 schließlich sind Verfahren zur Messung von Radon in Luft (ungesättigte Zone, Bodenluft) mittels LSC-Verfahren bekannt. Hier wird radonhaltige Luft mit einem Einleitungsrohr in stehendes Wasser eingeblasen, damit es sich im Wasser löst und dann aus dem Wasser mit einem LSC-Cocktail wieder extrahiert und gemessen werden kann.

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Charakterisierung von Grundwassermeßstellen durch Unterscheidung von Grundwasser und Standwasser sowie zur Bestimmung der für repräsentative Beschaffheits- 15 untersuchungen optimalen Abpumpzeiten von Grundwasserbeobachtungsrohren zu schaffen, welches es gestattet, mit verträglichem Aufwand und hoher Genauigkeit zuverlässig und reproduzierbar den optimalen Abpumpzeitpunkt zu bestimmen und eine sichere Bestimmung des Verhältnisses von Grundwasser zu Standwasser in einer 20 Grundwasserprobe sowie die Lokalisierung von Defekten zu gewährleisten.

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 18 und 19.

Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

30

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die Bestimmung der optimalen Abpumpzeiten beziehungsweise des optimalen Zeitpunktes für die Probenentnahme mit sehr hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit erfolgt, indem während des Abpumpvorganges in definierter zeitlicher Aufeinanderfolge Wasserproben entnommen wer-

35

den, von den entnommenen Proben die Radonaktivitätskonzentration gemessen wird und das Erreichen einer im wesentlichen konstant bleibenden Radonaktivitätskonzentration den optimalen Zeitpunkt für repräsentative Probenannahmen signalisiert.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die Erfassung der Grundwassermeßstellenparameter ohne Zeitverzug erfolgen kann, indem direkt aus dem zu untersuchenden Grundwasser vor Ort die Radonaktivitätskonzentration und/oder die Gesamtaktivitätskonzentration spektrometrisch und/oder durch Diffusion in ein Luftvolumen oder Ausgasen von nachfolgender Messung erfaßt und ausgewertet wird.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von teilweise in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 die Verteilung der Radonaktivitätskonzentration an einem Grundwasserbeobachtungsrohr
- Fig. 2 eine schematische Darstellung des Probenahmegerätes mit Einleitungsrohr
- Fig. 3 ein Diagramm der gemessenen Radonaktivitätskonzentration und elektrischen Leitfähigkeit während eines Abpumpversuches mit Pumpe direkt unter der Grundwasseroberfläche
- Fig. 4 ein Diagramm der gemessenen Radonaktivitätskonzentration und elektrischen Leitfähigkeit während eines Abpumpversuches mit Pumpe im Filterbereich

Wie aus Figur 1 zu ersehen ist, treten im Bereich eines Grundwasserbeobachtungsrohres im Grundwasser drei un-

terschiedliche Radonaktivitätskonzentrationen auf. Das Korngerüst des Grundwasserleiters produziert eine Basisaktivität  $A_{GWL}$ . Der eingebaute Filterkies 1 mit fremder Herkunft und größerem Korndurchmesser produziert seine eigene Radonaktivitätskonzentration  $A_{Filter}$ . Die Aktivität im nicht verfilterten Standrohr 2 des Grundwasserbeobachtungsrohres  $A_{GWR}$  hingegen ist null.

Der Porenraum des Filterkieses 1 unterhalb der Tonsperrre 3 und das Filterrohr 1a des Grundwasserbeobachtungsrohres werden vom Grundwasser mit der Aktivität  $A_{GWL}$  durchströmt. In Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers und der eingebauten Menge des Filterkieses 1 dominiert die Aktivität des Grundwassers auch im Filterkies 1 und im Innenraum des Filterrohres 1a. Im unverfilterten Standrohr (Aufsatzrohr) 2 des Grundwasserbeobachtungsrohres hingegen wird kein Radon gebildet. Die Aktivität des Wassers im nicht durchströmten Standrohr 2 sinkt deshalb entsprechend der Gleichung für den radioaktiven Zerfall auf den Wert null ab:

$$A_t = A_e e^{-\lambda t}$$

mit

$$A_t = \text{Radonaktivität zum Zeitpunkt } t \quad (1)$$

$$A_e = \text{Radonaktivität im Gleichgewicht}$$

$$\lambda = \text{radioaktive Zerfallskonstante, } l_{Rn} = 0,18 \text{ d}^{-1}$$

Dies bedeutet: Wenn durch eine Probennahme in das Standrohr 2 Grundwasser mit der Aktivität  $A_{GWL}$  gepumpt wurde, kann wegen der kurzen Halbwertszeit des Radons nach einer Standzeit von 26 Tagen nur noch eine Aktivität von 1% des Ausgangswertes gemessen werden. Damit ist Radon ein idealer Parameter zur Bestimmung des Standwasseranteils in einer Grundwasserprobe. Mißt man die Radonaktivitätskonzentration des abgepumpten

Wassers, so beginnt diese bei null und nähert sich entsprechend dem Mischungsverhältnis von Grund- und Standwasser einem Plateauwert. Anhand einer solchen Kurve kann der Zeitpunkt für eine repräsentative Probenahme als Funktion der Austauschvolumina des Grundwasserbeobachtungsrohres exakt bestimmt werden.

Bei allen Untersuchungen zum Abpumpverhalten eines Grundwasserbeobachtungsrohres müssen die beiden Möglichkeiten des unterschiedlichen Pumpeneinbaus im Filterbereich oder direkt unterhalb der Grundwasseroberfläche getrennt betrachtet werden. Möglich ist der Einbau der Pumpe 4 ein Meter unter der Filteroberkante beziehungsweise in Filtermitte oder bei tiefen Grundwasserbeobachtungsrohren und dem Fehlen der dafür notwendigen Pumpentechnik der Einbau der Pumpe 4 einen Meter unterhalb der Grundwasseroberfläche. Durchgehend verfilterte Grundwasserbeobachtungsrohre sind von den folgenden Betrachtungen ausgenommen.

Radon ist ein radioaktives Edelgas und hat drei Isotope mit den Massenzahlen 219, 220 und 222. Sie sind Glieder der natürlichen Zerfallsreihen von  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  und  $^{235}\text{U}$ . Entscheidend für das Vorkommen und die Verbreitung der drei Radonisotope im Wasser sind ihre Halbwertszeiten.

Wenn sie zu kurz sind, zerfallen die Isotope am Ort ihrer Entstehung. So gelangen Thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) mit 56 s Halbwertszeit und Actinon ( $^{219}\text{Rn}$ ) mit 4 s Halbwertszeit kaum oder gar nicht in die bewegte flüssige Phase. Radon-222 mit 3,8 d Halbwertszeit und seine Folgeprodukte sind deshalb die Hauptquellen der natürlichen Strahlenbelastung des Grundwassers.

Radon-222 (im folgenden als Radon bezeichnet) entsteht aus Radium-226, einem Zerfallsprodukt des  $^{238}\text{U}$ . Die Folgeprodukte des Radons sind Isotope der Elemente Polonium, Wismut und Blei. Der Zerfall des Radons bis

zum  $^{214}\text{Po}$  erfolgt durch drei Alpha- und zwei Beta-Zerfälle. Das Gleichgewicht zwischen Radon und seinen Folgeprodukten ist nach ca. drei Stunden erreicht.

5 Radon tritt insbesondere durch Rückstoßeffekte beim Alpha-Zerfall aus Fest- und Lockergesteinen aus oder es gelangt durch Diffusion an der Kornoberfläche in die flüssige Phase. Es schließt sich ein wegen der kurzen Halbwertszeit begrenzter Transportprozeß durch Diffusion und die Grundwasserströmung (Migration) an.

10 Das Korngerüst des Grundwasserleiters produziert permanent Radon und gibt dieses an die flüssige Phase ab. Die Emanationsrate von Lockergesteinen hängt neben der Konzentration des Vorgängerisotops Radium-226 auch von der Korngröße und der Form der Kornoberfläche ab. Die 15 Radonaktivitätskonzentrationen des Grundwassers korrelieren dabei mit der Stratigraphie des Grundwasserleiters.

20 Nachfolgend soll das in Figur 2 dargestellte Probenahmegeräß 5 sowie die Meßtechnologie näher beschrieben werden.

Das Probenahmegeräß 5 ist so geschaffen, daß beim Befüllen und beim anschließenden Transport das sehr mobile Radon nicht entweichen kann. Vor allem darf die 25 Wasserprobe nicht mit Luft in Kontakt kommen. Realisiert wird daher eine turbulenzarme Unterschichtung ohne Luftkontakt des auf der Grundwasserprobe 11 schwimmenden Cocktails 14 beim Befüllen des Probenahmegerätes 5. Um dies zu gewährleisten, ist ein Einleitungsrohr 6 mit Schliffkern in einem Aufsatz 9 angeordnet, welcher auch ein Entlüftungsrohr 10 aufweist, wobei sich das Einleitungsrohr 6 in das Probenahmegeräß 5 hinein bis kurz oberhalb des Probenahmegeräßbodens 7 erstreckt und 30 das Ende des Einleitungsrohres 6 sich unter der 35

Oberfläche eines Toluol-Szintillators befindet. Zu Beginn der Probennahme wird das Probennahmegeräß 5 in der Weise schräg gehalten, daß sich der Cocktail 14 am Ende des Einleitungsrohres 6 sammelt und eine ausreichende Überschichtung der einströmenden Grundwasserprobe auch während der Anfangsturbulenzen gesichert ist. Das Probenvolumen beträgt im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Liter. Nach der Probennahme wird das Einleitungsrohr 6 aus dem Probennahmegeräß 5 entfernt und das Probennahmegeräß 5 mit einem Stopfen aus Polyethylen fest verschlossen. Zusätzlich werden zwischen dem Stopfen und dem Hals 5a Dichtungen aus Teflon angeordnet. Wegen der bezüglich Wasser um das Vielfache höheren Löslichkeit von Radon in dem Toluol-Szintillator-Cocktail, bildet der im engen Hals 5a des Probennahmegeräßes 5 schwimmende Cocktail 14 einen sicheren Schutz gegen Radonverluste beim Transport der Probe.

Um Radonverluste schon bei der Probennahme zu vermeiden und gleichzeitig die Probennahmebedingungen objektiver zu gestalten, wird der Aufsatz 9 mit Entlüftungsrohr 10 sowie das Einleitungsrohr 6 mit Schliffkern aus Glas gefertigt. Der Cocktail 14 wird bereits vor der Probennahme in das Probennahmegeräß 5 gegeben und mit Hilfe des Einleitungsrohres 6 von der Grundwasserprobe 11 unterschichtet. Beim Einsatz der Unterwasserpumpe 4 wird über einen Bypass und einen Polyethylenschlauch 12 und bei den Membranpumpen über eine direkte Ankopplung des Polyethylenschlauches 12 über eine Schlauchkupplung 13 die Grundwasserprobe 11 ohne Kontakt mit der Luft direkt über das Einleitungsrohr 6 unter den Cocktail 14 geleitet. Zum Schutz des gläsernen Einleitungsrohres 6 vor Beschädigungen kann eine zweite Schlauchkupplung derart eingesetzt werden, daß das Einleitungsrohr 6 mit

5 einem Stück Schlauch über die Schlauchkupplung 13 fest verbunden bleibt und die Ankopplung und Trennung des Polyethylenschlauches 12 über eine zweite Schlauchkupplung erfolgt. Die Probennahme erfolgt so turbulenzarm und blasenfrei.

10 Die mit der Unterwassermotorpumpe 4 gewonnene Wasserprobe wird über einen Bypass und ein Einleitungsrohr blasenfrei und ohne Luftkontakt in einen Maßkolben 5 mit einem Volumen von 1 Liter gefördert. In diesem Maßkolben 5 befinden sich 20 ml eines Toluene-Szintillators (Cocktail, Toluene Szintillator der Firma Packard, 5 g PPO und 0,1 g POPOP pro Liter Toluol), der von der Grundwasserprobe unterschichtet wird. Im Labor wird das Radon durch Schütteln des Maßkolbens 5 extrahiert und der abpipettierte Cocktail in Vials gegeben. Die Messung der Vials erfolgte mit einem Flüssigszintillationspektrometer TRI-CARB 2550. TR/AB der Fa. Packard. Zur Beurteilung der Richtigkeit der 15 Meßergebnisse kann die Alpha/Beta-Diskriminierung herangezogen werden. Die Radonkonzentration zum Zeitpunkt der Probennahme wird durch Regression aus mehrfachen Messungen eines Vials berechnet. Die im Flüssigszintillationspektrometer ermittelten 20 Radonkonzentrationen werden in cpm (counts per minute) angegeben.

25 Zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit und gegebenenfalls des pH-Wertes und der Temperatur werden Meßsonden und eine Durchflußmeßzelle eingesetzt. Der geförderte Grundwasserstrom wird über einen Bypass in zwei Teilströme zur Gewinnung der Grundwasserproben und zum Durchströmen der Durchflußmeßzelle aufgeteilt. Es erfolgte keine Drosselung des Förderstromes während der 30 Probennahme, da die Radonaktivitätskonzentration vom Förderstrom unabhängig ist.

Nachfolgend sollen zwei Abpumpversuche näher erläutert werden. Die zwei beprobten Grundwasserbeobachtungsrohre waren baugleich. Sie hatten einen Rohrdurchmesser von 4,5" bei einem Bohrdurchmesser von 13" und waren mit einem 1 m-langen Edelstahlwickelfilter ausgebaut. Die Korngröße des Filterkieses betrug 2-8 mm, die Porosität wurde mit 0,25 angenommen. Unter Austauschvolumen wird im folgenden das Volumen des Grundwasserbeobachtungsrohres einschließlich des Porenraumes der Kiesfilterschüttung verstanden.

Im Versuch A wurde die Pumpe 4 einen Meter unter der Grundwasseroberfläche (Einbautiefe 6 m) in ein Grundwasserbeobachtungsrohr mit einer stehenden Wassersäule bis zur Filterunterkante von 39 m eingebaut. Die Filterkiesschüttung war 5,5 m mächtig. Bei konstanter Förderleistung der Pumpe von 1,75 m<sup>3</sup>/h wurde im Abstand von drei Minuten jeweils eine Probe zur Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration genommen. Gleichzeitig wurde die elektrische Leitfähigkeit minütlich aufgezeichnet. Der Versuch dauerte 120 min (Fig. 3).

Im Versuch B wurde die Pumpe im Filterbereich des zweiten Grundwasserbeobachtungsrohres installiert (Einbautiefe 48 m, stehende Wassersäule bis zur Filterunterkante 43 m). Die Kiesschüttung war 6,5 m mächtig, die Pumpenleistung betrug 1,73 m<sup>3</sup>/h. Die Probenahme erfolgte wie beim Versuch A bei einer Versuchsdauer von 50 min (Fig. 4).

Die Auswertung ergab, daß bei Versuch A das gesamte Standwasser im Grundwasserbeobachtungsrohr und im Filterkies vor der repräsentativen Probennahme ausgetauscht werden mußte. Die Radonaktivitätskonzentration begann erwartungsgemäß bei Null und stieg bis zu einem Plateauwert von 5180 cpm/l an (Fig. 3). Diese Kurve ist ein sicheres Maß für das Verhältnis von Standwasser zu

Grundwasser in der Probe. Eine repräsentative Grundwasserprobe konnte bereits nach 1,2 Austauschvolumina entnommen werden. Der Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte deutlich vor dem Anstieg der Radonaktivitätskonzentration.

Bei Versuch B kam es unmittelbar nach dem Einschalten der Pumpe zur Förderung von Grundwasser. Aus der Radonaktivitätskonzentration konnte wieder direkt das Verhältnis von Grundwasser zu Standwasser in der Probe bestimmt werden. Danach enthielt bereits die erste Probe 82% Grundwasser. Die Zumischung des Standwassers bei dieser Anordnung erstreckte sich trotzdem über einen längeren Zeitraum, der normiert auf das Austauschvolumen (hier eine fiktive Rechengröße) bei 1,0 eine repräsentative Probennahme gestattete (Plateau der Radonaktivitätskonzentration bei 4470 cpm/l). Die Leitfähigkeit zeigte bei dieser Anordnung nur eine geringe Zunahme von 30  $\mu$ S/cm bis zum Plateauwert von 525  $\mu$ S/cm.

Mit Hilfe der Radonaktivitätskonzentration konnte der Zeitpunkt für die repräsentative Probennahme für ein Grundwasserbeobachtungsrohr mit eingebauter Pumpe 4 direkt unter der Grundwasseroberfläche und ein zweites Grundwasserbeobachtungsrohr mit eingebauter Pumpe 4 im Filterbereich sicher bestimmt werden. Dabei war die relative Amplitudenänderung der Radonaktivitätskonzentration in beiden Versuchen dreimal größer als die der elektrischen Leitfähigkeit (100% zu 32% im Versuch A und 18% zu 6% im Versuch B).

Die Messung der Radonaktivitätskonzentration während des Abpumpvorganges gestattet die sichere Bestimmung des Verhältnisses von Grundwasser zu Standwasser in einer Grundwasserprobe. Ursache ist der schnelle Zerfall

des Radons im Standwasser eines Grundwasserbeobachtungsrohres aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit in Verbindung mit der ständigen Radonemanation im Korngerüst des Grundwasserleiters. Damit besteht die Möglichkeit, das Abpumpverhalten von Grundwasserbeobachtungsrohren allgemein zu untersuchen und zwar für beliebige Fälle des möglichen Pumpeneinbaues.

Darüberhinaus kann die Radonaktivitätskonzentration genutzt werden, um objektspezifisch Abpumpzeiten für Grundwasserbeobachtungsrohre zu bestimmen. Das erscheint für die Fälle sinnvoll, in denen keine Klarheit über die genaue Abpumpzeit herrscht und dem Ergebnis einer Wasseranalyse besondere Bedeutung zukommt, beispielsweise als Nachweis für den Erfolg einer kostenintensiven Sanierungsmaßnahme. Denkbar wäre auch der Einsatz der Radonaktivitätskonzentration für Grundwasserbeobachtungsrohre der Ländermeßnetze, wo ein hohes Maß an Repräsentanz erforderlich ist und Aufwand und Nutzen in einem ausgezeichneten Verhältnis zueinander stehen. Auch bei der Bewertung der Funktionstüchtigkeit von Alt-Grundwasserbeobachtungsrohren kann die Verwendung der Radonaktivitätskonzentration sinnvoll sein. Die Filter älterer Grundwasserbeobachtungsrohre verokkern, was die hydraulische Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt. Die Filter werden nicht mehr oder nur noch wenig vom Grundwasser durchströmt. Zur Bewertung der hydraulischen Funktionstüchtigkeit kann eine Schöpfprobe aus dem Filterbereich entnommen werden. Ist die Radonaktivitätskonzentration dieser Probe Null, wird der Filter nicht mehr vom Grundwasser durchströmt. Wird nach dem Entnehmen der Schöpfprobe ein Abpumpversuch durchgeführt und die Radonaktivitätskonzentration während des Abpumpversuches gemessen, kann aus dem Verhältnis der Radonaktivitätskonzentrationen der Schöpf-

probe zum Plateauwert des Versuches auf die Durchströmung des Filters geschlossen werden.

5 In einer Variation der Erfindung ist es möglich, daß statt der Radonaktivitätskonzentration die Gesamtaktivitätskonzentration gemessen wird, wobei die Radonaktivitätskonzentration einen großen Beitrag zur Gesamtaktivitätskonzentration liefert und andere Nuklide mit größeren Halbwertszeiten das Verfahren nicht stören.

10 Ebenso ist es möglich, daß die Messung der Radonaktivitätskonzentration on-Line erfolgt.

15 Für die Praxis ist die Vor-Ort-Bestimmung des Probenannahmezeitpunktes durch Online-Messung von entscheidender Bedeutung. Bei entsprechenden Überlegungen zur praktischen Anwendbarkeit des Verfahrens muß berücksichtigt werden, daß es eigentlich nicht auf die quantitative Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration ankommt, sondern daß die Bestimmung der Gesamtaktivitätskonzentration des Grundwassers für das vorgeschlagene Verfahren ausreicht. Das ist darin begründet, daß Radon den Hauptteil dieser Aktivität verursacht und eine gleichbleibende Hintergrundaktivität von Nukliden mit längeren Halbwertszeiten das Verfahren nicht stört.

20 Demzufolge sind zwei Möglichkeiten für eine Online-Messung zur Bestimmung des Abpumpvolumens von Grundwassermessstellen möglich:

25 a) Direkte Messung von Radon und seinen kurzlebigen Folgeprodukten

30 Die kurzlebigen Folgeprodukte des Radon-222 sind die Radionuklide Po-218, Pb-214, Bi-214 und Po-214, wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist.

Tab. 1: Zusammenfassung wesentlicher strahlungsphysikalischer Eigenschaften von Rn-222- und Rn-220-Zerfallsprodukten

Isotop	$T_{1/2}$	Strahlung	$\alpha$ -Energie [MeV]	$\gamma$ -Energie [MeV]
Ra-226	1602 a	$\alpha, \gamma$	4,78 (94,3 %) 4,69 ( 5,7 %)	0,186 (3,3 %)
<b>Rn-222</b>	<b>3,82 d</b>	$\alpha$	<b>5,49 (100 %)</b>	
Po-218	3,05 min	$\alpha$	6,00 (100 %)	
Pb-214	26,8 min	$\beta, \gamma$	-	0,295 (19 %) 0,352 (36 %)
Bi-214	19,7 min	$\beta, \gamma$	-	0,609 (47 %) 1,120 (15 %)
Po-214	164 ms	$\alpha$	7,68 (100 %)	
Pb-210	22,3 a	$\beta$	-	0,0465 (4,06 %)
Ra-224	3,66 d	$\alpha$	5,45 ( 6 %) 5,68 (94 %)	0,241 (3,9 %)
<b>Rn-220</b>	<b>55 s</b>	$\alpha$	<b>6,29 (100 %)</b>	
Po-216	0,15 s	$\alpha$	6,78 (100 %)	
Pb-212	10,6 h	$\beta, \gamma$	-	0,239 (47 %) 0,300 (3,2 %)
Bi-212	60,6 min	$\alpha, \beta, \gamma$	6,05 (25 %) 6,09 (10 %)	0,727 (11,8 %) 1,620 (2,8 %)
Po-212	304 ns	$\alpha$	8,78 (100 %)	
Tl-208	3,1 min	$\beta, \gamma$	-	0,511 (23 %) 0,583 (86 %) 0,860 (12 %) 2,614 (100 %)

5

Nachdem das Radon aus dem Wasser extrahiert und damit von diesen Folgeprodukten getrennt worden ist,  
 10 bestimmt im wesentlichen das Folgenuklid mit der längsten Halbwertszeit (Pb-214 mit  $T_{1/2} = 26,8$  min) die Zeit bis zum erneuten Erreichen des radioaktiven Gleichgewichtes nach vier Halbwertszeiten, d.h. nach etwa zwei Stunden. Eine schnelle Messung von Radon ist über eine alphaspektrometrische Bestimmung von Radon und Po-218 ( $T_{1/2} = 3,1$  min) möglich, da sich das Gleichgewicht zwischen Rn-222 und Po-218 schon  
 15

nach etwa 12 min eingestellt hat. Eine andere Möglichkeit besteht darin, einen aus einer diffusionsdurchlässigen Membran bestehenden, luftgefüllten Schlauch in Form einer Spule in den Förderstrom einer Pumpe einzubauen. Das Radon diffundiert aus dem Wasser durch den Schlauch in die Luft und kann in einer Meßzelle (z.B. Lucas-Zelle) online gemessen werden (SURBECK, 1996). Hier findet sich auch ein Beispiel für eine Online-Messung von Radon im Leitungswasser mit einer zeitlichen Auflösung von 30 min. Eine weitere Reduzierung der Meßzeit auf 1 min, hängt davon ab, ob die dann noch erreichbare Genauigkeit für das vorgeschlagene Verfahren zur Bestimmung von Abpumpzeiten ausreichend ist.

b) Messung der Gesamtaktivitätskonzentration

Hier besteht die Möglichkeit, verschiedene bereits existierende Meßgeräte und Meßprinzipien zu nutzen.

Zur Online-Erfassung der Leitkennwerte wird eine neue Durchflußmeßzelle vorgeschlagen, die neben der Messung der natürlichen Radonaktivitätskonzentration auch den Durchfluß und die traditionellen Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert erfaßt. Alle Leitkennwerte werden als Funktion des Abpumpvolumens durch ein zugehöriges Software-Programm online dargestellt und dokumentiert. Die Auswertung der aufgezeichneten Kurven und insbesondere die Bestimmung der Plateauwerte aller Leitparameter sowie ein Vorschlag für den optimalen Zeitpunkt für die repräsentative Probennahme gehören ebenfalls zum Funktionsumfang dieser Software. Mit einer solchen Durchflußmeßzelle können Probennahmen aus Grundwassermeßstellen objektiviert, die Repräsentanz

der Grundwasserproben erhöht und gleichzeitig die Abpumpzeiten gesenkt werden, was die Kosten der Probennahme reduziert.

5 Eine weitere vorgeschlagene Vorrichtung ist eine Bohrlochsonde zur online-Erfassung der Leitkennwerte in Grundwassermeßstellen.

10 Die ungespannte Grundwasserströmung wird häufig mit Hilfe der DUPUIT-Annahme idealisiert, die besagt, daß die Strömung über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters horizontal verläuft. Reale Grundwasserströmungen weisen hingegen vertikale Strömungskomponenten auf, die durch kleine Druckunterschiede im Bereich von 15 Zentimetern hervorgerufen werden. Damit kommt der richtigen Anlage von funktionstüchtigen Grundwassermeßstellen für eine teufenorientierte, repräsentative Probennahme eine große Bedeutung zu. Wenn eine Grundwassermeßstelle defekt ist, wird diese zwischen dem Filter und der defekten Stelle langsam durchströmt 20 (Kurzschlußströmung). Es ist für ein 4"-Rohr bei einem Druckunterschied von nur 1 cm auf 10 m die vertikale Durchströmung des Meßstellenrohres 100.000 mal größer als die horizontale Durchströmung des Grundwasserleiters. Defekte Grundwassermeßstellen zu erkennen ist deshalb für eine repräsentative Probennahme von besonderer Bedeutung.

25 Als Verfahren zur direkten Messung von Kurzschlußströmungen sind Flowmetermessungen bekannt, die bei hinreichend großen Strömungsgeschwindigkeiten einsetzbar sind. Für langsame Strömungsgeschwindigkeiten werden das Bohrlochfernsehen (optische Suche nach mechanischen Beschädigungen) und Temperaturmessungen verwendet, die nicht immer zu den gewünschten Ergebnissen führen. 30 Deshalb wird die neue Bohrlochsonde zur Lokalisierung

von Wasserzutrittsstellen in einer verrohrten Bohrung auf der Basis der natürlichen Radonaktivitätskonzentration des Grundwassers vorgeschlagen.

5 Die Radonaktivitätskonzentration ist im Standwasser einer Grundwassermeßstelle nahezu Null, weil das Radon mit seiner Halbwertszeit von 3,8 Tagen in kurzer Zeit zerfällt. Eintrittsstellen von Grundwasser in eine Meßstelle durch defekte Muffen oder gerissene Rohre lassen sich auch bei geringsten Strömungsgeschwindigkeiten 10 durch die Anwesenheit von Radon-222 im Standwasser der Meßstelle erkennen. Wird ein Radon-222-Log an einer Meßstelle durchgeführt, können Eintrittsstelle, Richtung der Durchströmung und je nach Strömungsgeschwindigkeit auch die Austrittsstelle von Grundwasser lokalisiert werden (Radon-222 ist sensitiv auf Grundwasser bis 15 Tage nach Eintritt in die Meßstelle). Diese Methode kann in verrohrten Bohrungen zur Lokalisierung von Kurzschlußströmungen durch defekte Muffen, undichte Rohre, funktionsuntüchtige Packer oder in mehrfach verfilterten Meßstellen eingesetzt werden und ist auch zur Lokalisierung von Wasserzutritten in unverrohrten Bohrungen geeignet. Die oben vorgeschlagene Bohrlochsonde 15 misst die Radonaktivitätskonzentration im Standwasser einer Meßstelle während der Befahrung online.

25 Hierzu wird beispielsweise ein für Radon durchlässiger Schlauch, z.B. in Form einer Spule, in das zu beprobende Wasser getaucht. Das Radon diffundiert aus dem Wasser in den Schlauch, der von Luft durchströmt 30 wird, deren Radonkonzentration dann online in einer Meßzelle (z.B. Lucas-Zelle) gemessen werden kann.

35 Es besteht auch die Möglichkeit, die Radonaktivitätskonzentration als neuen Parameter in herkömmliche Durchflußmeßzellen zu integrieren. Eine derartige Durchflußmeßzelle ist in der Lage, neben der Radonakti-

vitätskonzentration die üblichen Sofortparameter Leitfähigkeit, Temperatur und den pH-Wert zu messen und darüberhinaus eine induktive Durchflußmessung zu realisieren. Unter Einsatz mikroelektronischer Bauelemente können alle Informationen gespeichert werden, optisch online dargestellt, protokolliert und vor allem reproduzierbar die optimale Abpumpzeit aus dem Anstieg aller Kurven ermittelt werden.

10 Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch geeignete Kombination der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

15

**Bezugszeichenliste**

- 1 Filterkies
- 1a Filterrohr
- 2 Standrohr
- 3 Tonsperre
- 4 Pumpe
- 5 Probenahmegeräß
- 5a Hals
- 6 Einleitungsrohr
- 7 Probenahmegeräßboden
- 9 Glasaufsatz
- 10 Entlüftungsrohr
- 11 Grundwasserprobe
- 12 Polyethylenschlauch
- 13 Schlauchkupplung
- 14 Cocktail

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Charakterisierung von  
Grundwassermeßstellen durch Unterscheidung von  
Grundwasser und Standwasser,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Unterscheidung unter Nutzung von Radon als  
natürlichem Tracer erfolgt.

10 2. Verfahren nach Anspruch 1 zur Bestimmung der  
optimalen Abpumpzeiten von  
Grundwasserbeobachtungsrohren zur Festlegung des  
Zeitpunktes für eine repräsentative Probennahme,

15 dadurch gekennzeichnet, daß

- während des Abpumpvorganges in definierter  
zeitlicher Aufeinanderfolge Wasserproben entnommen  
werden,

- von den entnommenen Proben die  
Radonaktivitätskonzentration gemessen wird und

- das Erreichen einer im wesentlichen konstant  
bleibenden Radonaktivitätskonzentration den  
optimalen Zeitpunkt für eine repräsentative  
Probennahme von Grundwasser aus dem  
Grundwasserbeobachtungsrohr anzeigt.

25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

30 daß zusätzlich zur Messung der  
Radonaktivitätskonzentration die elektrische  
Leitfähigkeit gemessen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Messung der Radonaktivitätskonzentration  
off-Line erfolgt derart, daß  
5 - die Wasserprobe ohne Luftkontakt in ein  
Probenahmegeräß gefördert wird,  
- in dem Probenahmegeräß ein Toluenszintillator  
angeordnet ist,  
- der Toluenszintillator von der Wasserprobe  
10 unterschichtet wird,  
- nachfolgend das Radon durch Schütteln des  
Probenahmegeräßes extrahiert und  
- der Toluenszintillator-Cocktail abpipettiert und  
in ein Vial eingebracht wird und nachfolgend  
15 - die Messung der Vials zur Bestimmung der  
Radonaktivitätskonzentration mit einem  
Flüssigszintillationsspektrometer erfolgt.
- 20 5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Erhöhung der Zählraten bei geringen Ra-  
donaktivitätskonzentrationen nach Cocktaillnachfül-  
lung mehrfach abpipettiert und in das selbe Vial  
25 abgefüllt wird.
- 20 6. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 daß die Beurteilung der Richtigkeit der Meßergeb-  
nisse durch Alpha/Beta-Diskriminierung erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 2 oder 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Radonkonzentration zum Zeitpunkt der  
Probennahme unter Berücksichtigung der  
Halbwertszeit des Radons durch Mehrfachmessung mit  
anschließender Regression bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zusätzlich zu der Radonaktivitätskonzentration die  
Aktivitätskonzentrationen der Radonfolgeprodukte  
gemessen und die Gesamtaktivitätskonzentration be-  
stimmt wird, wobei die Radonaktivitätskonzentration  
einen großen Beitrag zur Gesamtaktivitätskonzentra-  
tion liefert und andere Nuklide mit größeren Halb-  
wertszeiten das Verfahren nicht stören.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Messung der Radonaktivitätskonzentration  
und/oder der Gesamtaktivitätskonzentration on-Line  
erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß aus dem zu untersuchenden Grundwasser vor Ort die  
Radonaktivitätskonzentration und/oder die Gesamtakti-  
vitätskonzentration spektrometrisch und/oder durch  
Diffusion in ein Luftvolumen oder Ausgasen und nach-  
folgender Messung erfaßt und ausgewertet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

5 daß die spektrometrische Messung durch  $\alpha$ -spektrometrische Bestimmung von Radon und/oder Po-218 erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 10,

10 dadurch gekennzeichnet,

15 daß in den Förderstrom einer Pumpe ein aus einer diffusionsdurchlässigen Membran bestehender luftgefüllter Schlauch in Form einer Spule eingebracht wird, in dem das Radon aus dem Wasser hineindiffundiert und das nunmehr in der Luft enthaltene Radon in einer Meßzelle online gemessen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 10,

20 dadurch gekennzeichnet,

25 daß zusätzlich zu der Erfassung der Radonaktivitätskonzentration und/oder der Gesamtaktivitätskonzentration die Parameter elektrischer Leitwert, und/oder Temperatur und/oder pH-Wert erfaßt werden.

25

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 durch Realisierung einer Bohrlochsonde zur online-Erfassung der Leitkennwerte in Grundwassermeßstellen,

30 dadurch gekennzeichnet,

daß die Messung der Radonaktivitätskonzentration des in dem Bohrloch enthaltenen Grundwassers online während der Befahrung der Meßstelle erfolgt, indem ein für Radon durchlässiger Schlauch in das zu beprobende Wasser getaucht wird, das Radon aus dem Wasser in den Schlauch diffundiert, die den Schlauch durchströmende Luft das Radon aufnimmt und die Radonkonzentration der Luft dann online in einer Meßzelle gemessen wird.

10

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 durch Realisierung einer Durchflußmeßzelle zur online-Erfassung der Leitkennwerte in Grundwassermeßstellen,

15

dadurch gekennzeichnet,

20

daß der Messung der natürlichen Radonaktivitätskonzentration und/oder der Gesamtaktivitätskonzentration auch die traditionellen Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert im Förderstrom einer Pumpe beim Abpumpen einer Grundwassermeßstelle erfaßt werden, wobei darüberhinaus auch eine Volumenmessung integriert ist, die gemessenen Leitkennwerte Radonaktivitätskonzentration, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert kontinuierlich erfaßt und als Funktion des Abpumpvolumens durch ein zugehöriges Software-Programm online dargestellt und dokumentiert werden, wobei die Auswertung der aufgezeichneten Kurven und insbesondere die Bestimmung des Plateauwertes der Aktivitätskonzentration sowie ein Vorschlag für den optimalen Zeitpunkt für die repräsentative Probeaufnahme auf der Basis eines mathematischen Algorithmus ebenfalls zum Funktionsumfang gehören,

30

35 wodurch die Probenaufnahmen aus Grundwas-

sermeßstellen objektiviert, die Repräsentanz der Grundwasserproben erhöht und die Abpumpzeiten gesenkt werden können, was die Kosten der Probenaufnahme reduziert.

5

16. Vorrichtung nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

10 daß die Durchflußmeßzelle einen aus einer diffusionsdurchlässigen Membran bestehenden luftgefüllten Schlauch aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16,

15 dadurch gekennzeichnet,

daß der Schlauch in Form einer Spule ausgebildet ist.

20 18. Verwendung von Radon als natürlichem Tracer zur Unterscheidung von Standwasser und Grundwasser in und/oder aus Grundwassermeßstellen.

25 19. Verwendung von Radon als natürlichem Tracer zur Erkennung und/oder Lokalisierung von Defekten und/oder Kurzschlüssen an Grundwassermeßstellen.

1/4

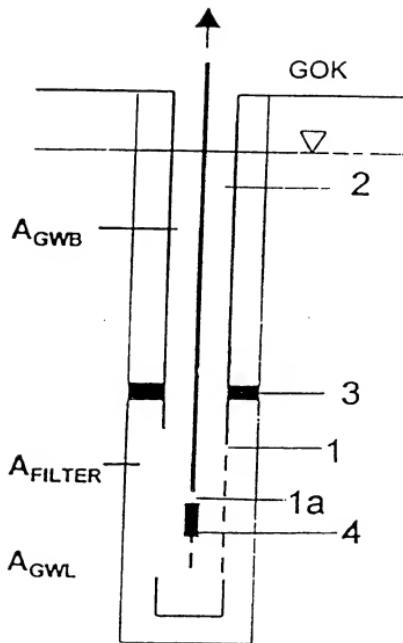


Fig. 1



2/4

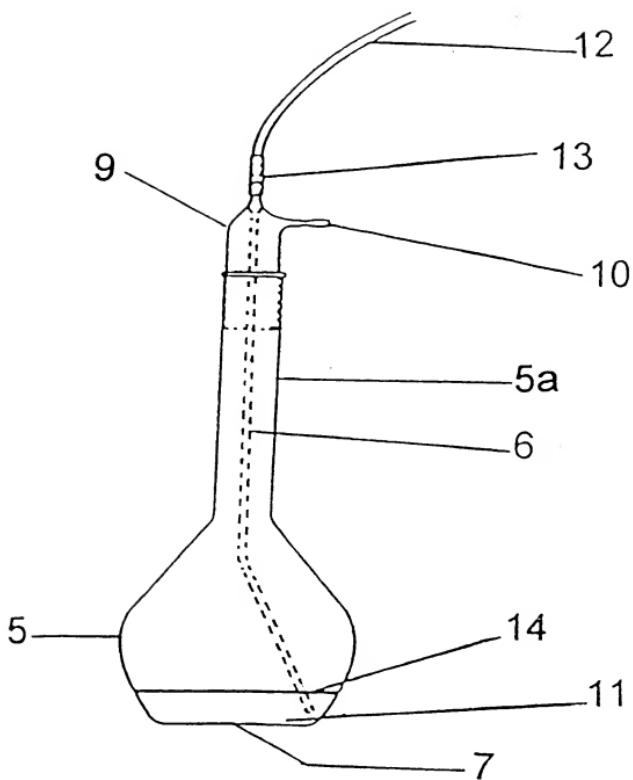
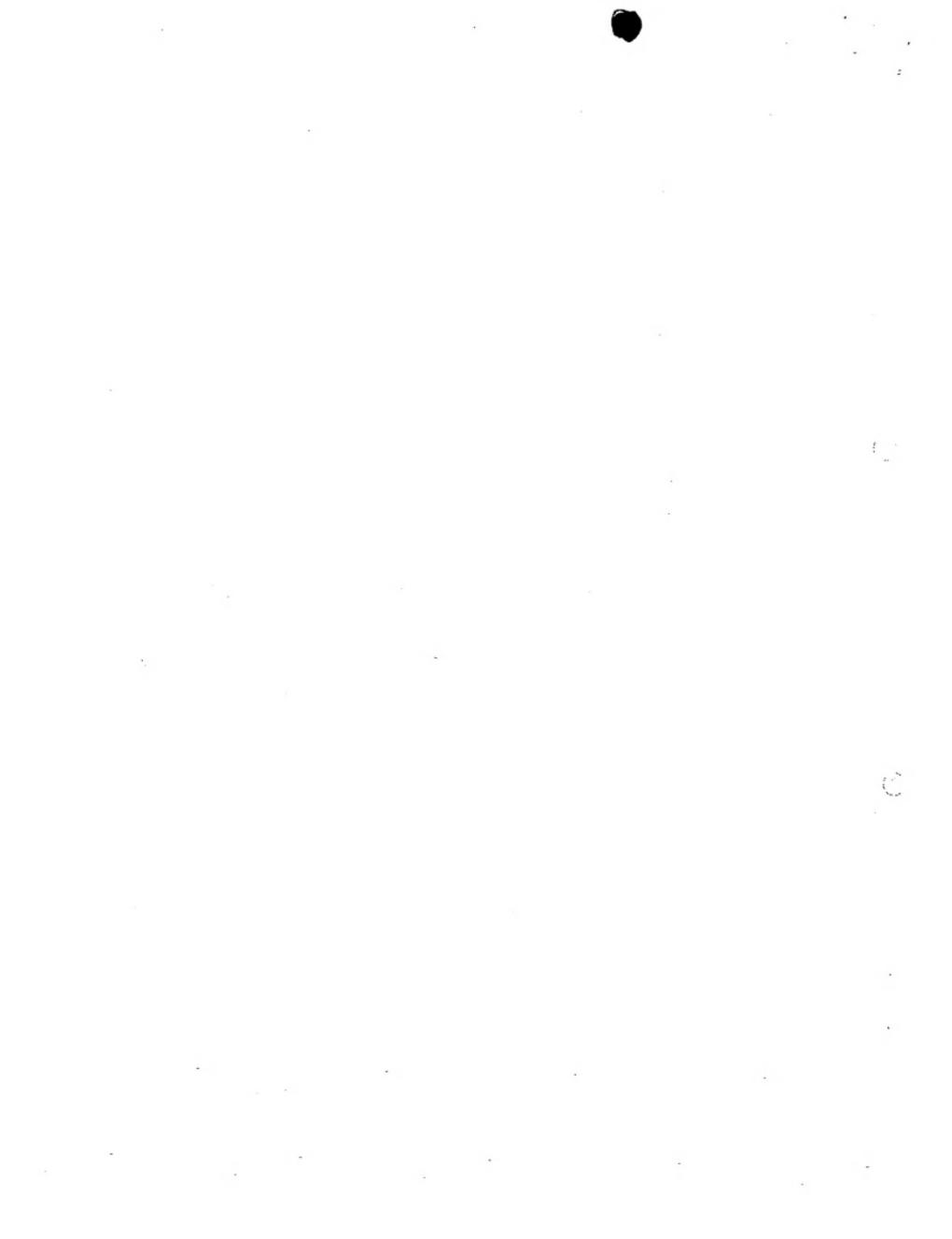


Fig. 2



3/4

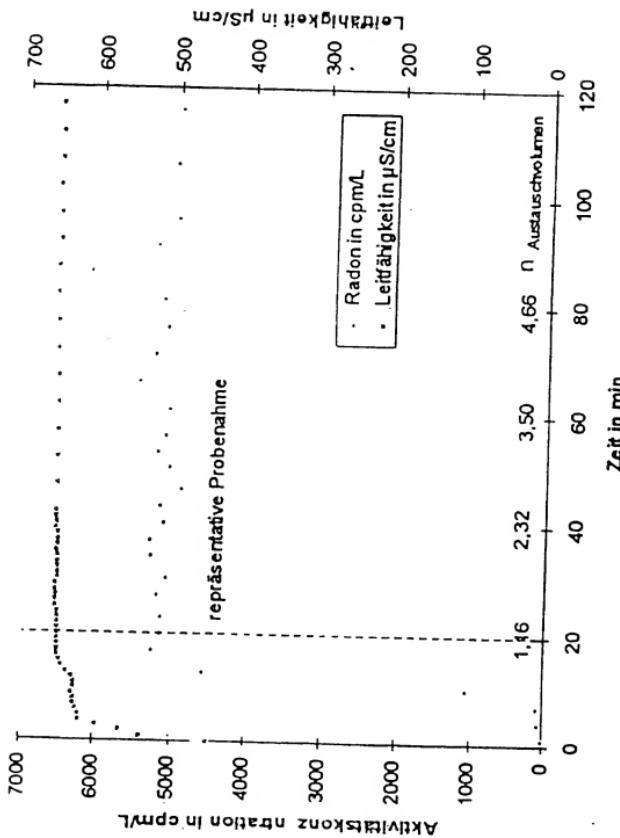


Fig. 3

200

2

4/4

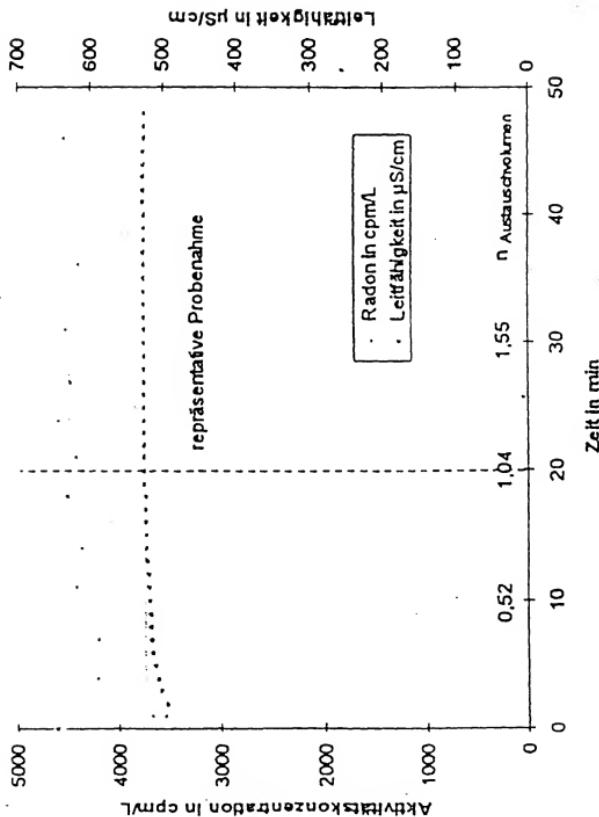


Fig. 4

○

○

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 97/02450

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01N33/18 G01N1/14 E02D1/06 E21B47/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01N E21B E02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 39 11 366 A (GRUNDFOS INT ;PREUSSAG AG (DE)) 11 October 1990 cited in the application see the whole document	1-8, 14-17
Y	HOEHN E ET AL: "Radon in groundwater: a tool to assess infiltration from surface waters to aquifers" WATER RESOURCES RESEARCH, AUG. 1989, USA, vol. 25, no. 8, ISSN 0043-1397, pages 1795-1803, XP002040816 see the whole document	1-8, 14-17 (2)
X	---	18,19
	-/-	

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*V\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

1

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 September 1997	- 2. 10. 97
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2200 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax. (+ 31-70) 340-3016	Authorized officer  Brock, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. Application No  
PCT/EP 97/02450

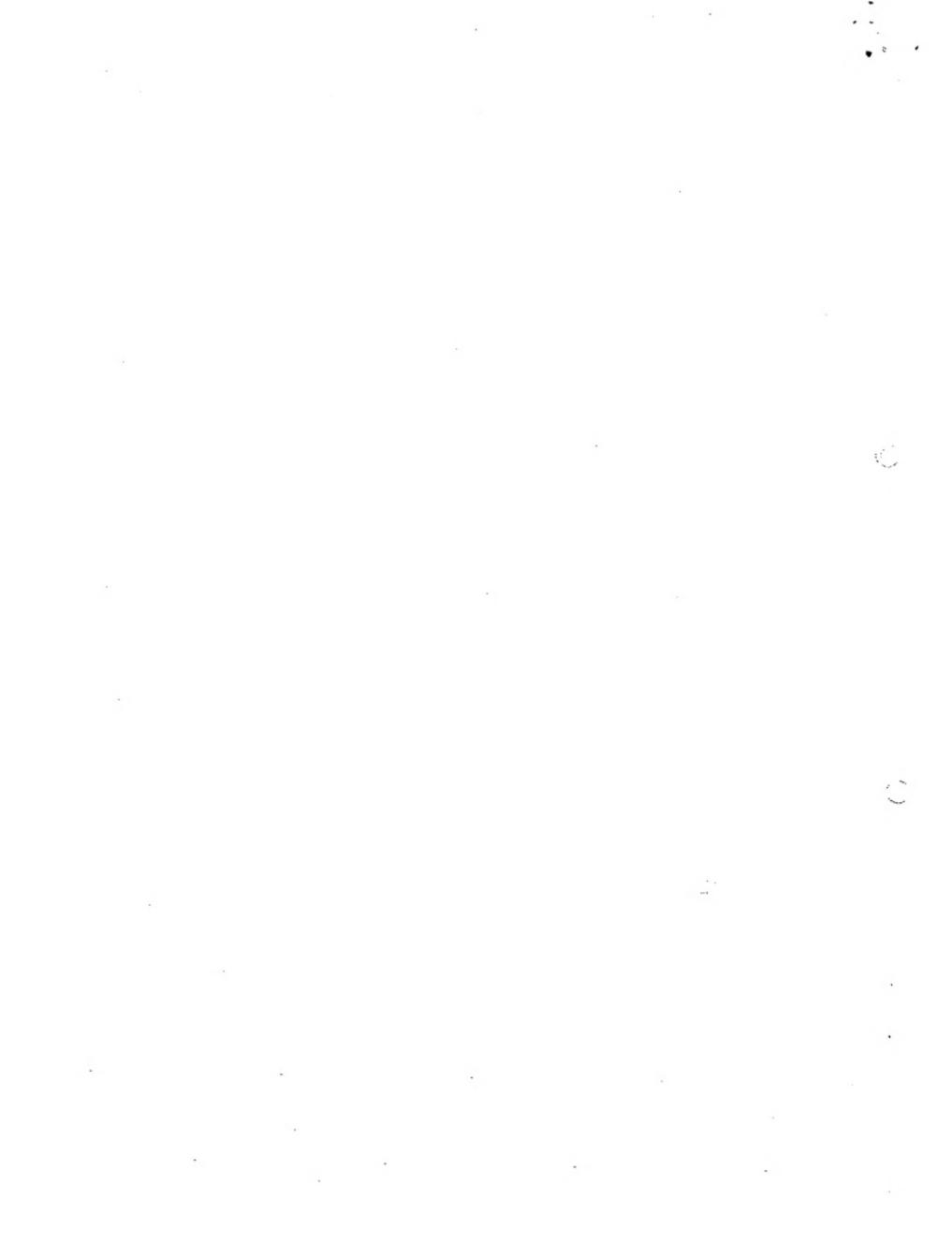
C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WILLME U ET AL: "BESTIMMUNG VON GRUNDWASSERVERWEILZEITEN MIT GEOGENEM 222RADON BEI KUNSTLICHER GRUNDWASSERANREICHERUNG UND UFERFILTRATION IN EINER TRINKWASSERGEWINNUNGSANLAGE" GWF WASSER ABWASSER, vol. 136, no. 5, 1 May 1995, pages 234-241, XP000506703 see the whole document	18,19
A	---	1-8
Y	LABED V ET AL: "Study of /sup 222/Rn permeation through polymer membranes: application to continuous measurement of /sup 222/Rn in water" HEALTH PHYSICS, AUG. 1992, USA, vol. 63, no. 2, ISSN 0017-9078, pages 172-178, XP002040817	14-17
A	see abstract	9-13
A	DD 282 770 A (BERGAKADEMIE FREIBERG ) 19 September 1990 see the whole document	1,18,19
A	---	1,18,19
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 095, no. 002, 31 March 1995 & JP 06 324200 A (NITSUSAKU:KK), 25 November 1994, see abstract	1,18,19
E	---	1-19
DE 297 04 842 U (UFZ UMWELTFORSCHUNGZENTRUM LE) 22 May 1997 see the whole document	-----	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Appl. No.  
PCT/EP 97/02450

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3911366 A	11-10-90	WO 9012305 A DE 59002629 D EP 0418356 A ES 2044571 T US 5224389 A	18-10-90 14-10-93 27-03-91 01-01-94 06-07-93
DD 282770 A		NONE	
DE 29704842 U	22-05-97	DE 19621158 C	11-09-97



## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen  
PCT/EP 97/02450A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G01N33/18 G01N1/14 E02D1/06 E21B47/08

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprästoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 G01N E21B E02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprästoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGEBEHNE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 39 11 366 A (GRUNDFOS INT ;PREUSSAG AG (DE)) 11.Oktober 1990 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument ---	1-8, 14-17
Y	HOEHN E ET AL: "Radon in groundwater: a tool to assess infiltration from surface waters to aquifers" WATER RESOURCES RESEARCH, AUG. 1989, USA, Bd. 25, Nr. 8, ISSN 0043-1397, Seiten 1795-1803, XP002040816 siehe das ganze Dokument ---	1-8, 14-17
X	---	18,19 -/-

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:  
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"B" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei erscheinen zu lassen, oder durch das die Veröffentlichungstdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie aufgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kolidiert, sondern nur zum Verständnis des der Rechercheberichtsgemachten Prinzipa oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend angesehen werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"E" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

1	Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  16.September 1997	Abschlußdatum des internationalen Rechercheberichtes  - 2.10.97
	Name und Postanschrift der internationale Recherchebehörde Europäische Patentbehörde, P.B. 5818 Patentanlaan 2 NL - 2280 HU Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+ 31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Brock, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern des Aktenzeichen

PCT/EP 97/02450

## C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WILLME U ET AL: "BESTIMMUNG VON GRUNDWASSERVERWEILZEITEN MIT GEOGENEM 222RADON BEI KUNSTLICHER GRUNDWASSERANREICHERUNG UND UFERFILTRATION IN EINER TRINKWASSERGEWINNUNGSANLAGE" GWF WASSER ABWASSER, Bd. 136, Nr. 5, 1.Mai 1995, Seiten 234-241, XP000506703 siehe das ganze Dokument	18,19
A	---	1-8
Y	LABED V ET AL: "Study of /sup 222/Rn permeation through polymer membranes: application to continuous measurement of /sup 222/Rn in water" HEALTH PHYSICS, AUG. 1992, USA, Bd. 63, Nr. 2, ISSN 0017-9078, Seiten 172-178, XP002040817 siehe Zusammenfassung	14-17
A	---	9-13
A	DD 282 770 A (BERGAKADEMIE FREIBERG ) 19.September 1990 siehe das ganze Dokument	1,18,19
A	---	1,18,19
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 095, no. 002, 31.März 1995 & JP 06 324200 A (NITSUSAKU:KK), 25.November 1994, siehe Zusammenfassung	1,18,19
E	DE 297 04 842 U (UFZ UMWELTFORSCHUNGZENTRUM LE) 22.Mai 1997 siehe das ganze Dokument	1-19
	-----	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/02450

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3911366 A	11-10-90	WO 9012305 A DE 59002629 D EP 0418356 A ES 2044571 T US 5224389 A	18-10-90 14-10-93 27-03-91 01-01-94 06-07-93
DD 282770 A		KEINE	
DE 29704842 U	22-05-97	DE 19621158 C	11-09-97

